

屋根葺き材と雪氷体との凍着力について

○苫米地 司（北海道工業大学），山口 英治（太陽工業（株））

1. はじめに

近年では、青森県や秋田県などの積雪寒冷地域に大スパン膜構造物が建設されている。この場合、屋根材に使用されている膜材はわずかな積雪でも透光性が失われるため、屋根雪の処理方法が大きな問題となる。現状では、融雪させながら滑雪させる方法を採用しているが、膜構造物を対象とした屋根雪処理に関する基礎的な研究例が少ないため、前述の問題への対応は十分とはいえない^{1)・2)・3)・4)}。

このような背景から、本研究では膜材上の雪氷体に作用する力の中で最も大きい凍着力の性状を明らかにし、この凍着力を軽減するための方法を恒温低温室内で検討した⁵⁾。これらの結果をもとに、大スパン膜構造物における屋根雪処理システムを確率することを目的としている。

2. 測定方法

2-1 凍着力実験

(1) 実験装置

図1に凍着力実験装置の概要を示す。図に示すように融雪用のヒーターを取り付けた傾斜台は、ハンディウインチを巻き上げることによって任意に角度を設定できる。ヒーター部分は図2に示すパネルヒーターを使用した。パネルヒーターの仕事率は、変圧機（レギュレーター）で電圧を変化させることにより任意に設定できる。さらに、パネルヒーターの熱損失を抑えるため、図に示すようにパネルヒーター下部に発砲スチロール25mmを取り付けた。なお、温度変化に対して抵抗を一定に保つため、発熱源にマンガニン線を用いた。

(2) 測定方法

凍着状況は、傾斜台を水平な状態にして雪氷モデルを置き、パネルヒーターを設定電圧 30V で発熱させ雪氷モデルと膜の界面に融雪水を発生させ、次に所定の時間経過した後（-10℃：1

1分、-5℃：8分、-2.5℃：7分）にパネルヒーターの発熱を止め、雪氷モデルを3時間凍着させた。その後、滑車を付けミハエリス曲げ試験器の載荷装置を用いて雪氷モデルを引っ張り、剥離させて温度別の凍着力を測定した。

(3) 凍着力の算出

実験の測定結果から凍着力 F_a (kg/m^2) の算出は、下式から求めた。

$$F_a = (G - W) / A$$

G ：剥離を起こしたときの重量 (kg)

W ：自重 (kg) A ：雪氷モデルの接触面積 (m^2)

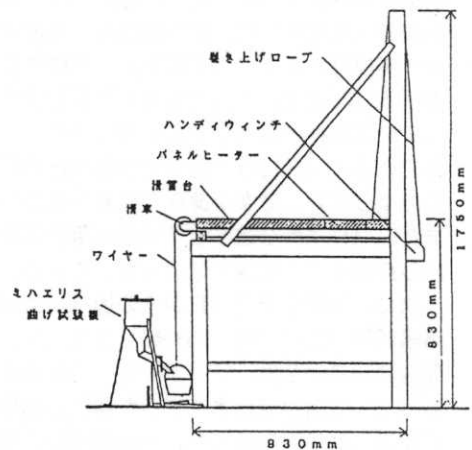


図1 融雪・滑雪，凍着力実験装置

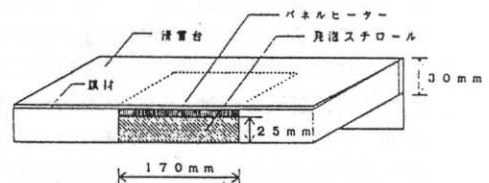


図2 ヒーター部分拡大図

(4) 実験シリーズ

実験シリーズを以下の表1に示す。実験は、表に示す投入電圧、温度条件、積雪重量の条件を変え9種類実施した。

(5) 低温恒温室

冬期間の温度を想定するため、滑雪装置を恒温室に設置した。恒温室は-30~+60℃まで温度変化が可能で、温度調節幅は±0.5℃である。この恒温室を使用することにより安定した温度条件を得ることができる。

(6) 雪氷モデルの選定

一般に屋根葺材に長期間接する旧雪の状態は、変態、融解及び凍結により氷粒状のざらめ雪、クラスト状、氷板状など多結晶で氷にほぼ近い状態にある⁵⁾。従って、本研究では図3に示すように氷モデルで実験を行った。なお、基本的に雪氷モデルは各実験同一のモデルを使用した。

2-2 融雪・滑雪実験

(1) 実験装置

融雪滑雪実験装置は、図1に示すように凍着力実験装置と同様の装置を使用した。

(2) 測定方法

凍着力実験と同様に所定の時間凍着させた後、傾斜台を設定角度までハンディウィンチを巻き上げ、雪氷モデルが滑雪するまでパネルヒーターを発熱させた。同時に、滑走するまでの温度状況、投入熱エネルギーの所定時間を測定した。

(3) 投入エネルギー量の算出

膜面に与えられたエネルギー量 Q_{sn} (kcal) は次式から求めた。なお、本研究では、熱損失量は極微量であるため考慮しないものとする。

$$Q_{sn} = (V^2/R) \cdot t/J$$

V: 電圧 (V) R: 抵抗 (Ω)
t: 時間 (S) J: 4.19 (J/cal)

(4) 実験シリーズ

融雪滑雪実験シリーズを以下の表1に示す。実験は、表に示す温度条件、積雪重量、滑雪角度、投入電圧の条件を変えて、33種類実施した。

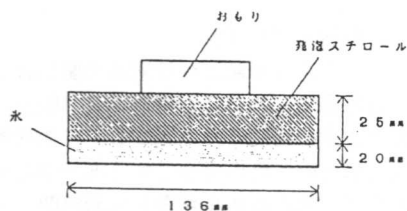


図3 雪氷モデル

電 圧 (V)	積雪重量 (kg/m ²)	角 度 (°)	温 度 (°C)		
			-2.5	-5.0	-10.0
20	20	20	●	●	●
	40	10	●	●	●
		20	○	○	○
		30	●	●	●
		40	●	●	●
	80	20	○	○	○
	120		●	●	●
	160		○	○	○
30	●		●	●	
40		●	●	●	
50		●	●	●	

注) ●: 融雪滑雪実験 ○: 融雪滑雪実験および、凍着力実験
約3時間凍着させると、室温とほぼ同温となるため凍着時間を3時間とした。

それぞれの電圧を、エネルギー投入速度に置き換えると以下のようになる。

20v: 0.11kcal/m²・s 30v: 0.25kcal/m²・s
40v: 0.45kcal/m²・s 50v: 0.70kcal/m²・s

表1 実験シリーズ

3. 実験結果

3-1 凍着力実験

これまでの研究によれば、滑雪抵抗力は「凍着力+静摩擦力」となるが静摩擦力が極微量であるため、滑雪抵抗力の大部分が凍着力であることが指摘されている⁶⁾。従って、滑雪の有無は凍着性状に大きく影響を受けることになる。これらの凍着性状を温度条件や積雪重量などを変えて検討すると、以下ようになる。図5に凍着力と温度との関係を示す。図のように、凍着力はいずれの積雪重量においても温度の増加に伴い減少する。この減少傾向をみると、設定温度-5℃以下では温度の増加に伴い緩慢な減少傾向を示す。これに対し、-5℃を超えると温度の増加にともない急激な減少傾向を示す。さらに、いずれの温度条件においても積雪重量 40kg/m²の場合と積雪重量160kg/m²の場合との凍着力の差が100kg/m²前後の値となる。これらの結果から判断すると、凍着力は温度と積雪重量に大きく影響を受けている。

3-2 融雪・滑雪実験

投入エネルギー量と積雪重量の関係は、いずれの設定温度においても積雪重量 40kg/m^2 までは積雪重量の増加に伴い減少し、この積雪重量を超えるといずれの場合でもほぼ一定の値を示す。図6に、投入エネルギー量と凍着時間との関係を示す。図のように、投入エネルギー量は凍着時間が長くなるに伴い増加する。この増加傾向をみると、いずれの温度においても凍着時間3時間までは急激な増加を示すが、凍着時間3時間を超えるとほぼ一定の値を示す。各設定温度別に投入エネルギー量をみると、設定温度が低いほど投入エネルギー量を多く必要とする。

図7に、投入エネルギー量と温度との関係を示す。図のように、設定温度の低下に伴い投入エネルギー量が直線的に増加するが、各設定温度ごとの滑雪角度別の投入エネルギー量をみると、ほぼ一定の値を示す。なお、滑雪角度 10° では、融雪水による吸着現象を受け滑雪しない場合もみられた。したがって、融雪滑雪を行う場合には滑雪角度 20° 以上を必要と考える。

図8に投入エネルギー量と 1m^2 当たり1秒間与える熱量（以下「エネルギー投入速度」という）との関係を示す。図のように、 -2.5°C で $0.11\text{kcal/m}^2\cdot\text{s}$ 前後、 -5°C で $0.18\text{kcal/m}^2\cdot\text{s}$ 前後、 -10°C で $0.25\text{kcal/m}^2\cdot\text{s}$ 前後で、投入エネルギー量は最も低い値を示し、この値を超えると投入エネルギー量は増加する。すなわち、この値がエネルギーを与える場合の分岐点になると考える。各温度の分岐点を結ぶと図中の式 $Q_{sn}=520\cdot Q_v$ となる。さらに、各温度ごとの増加傾向を示すと図中の3式になる。したがって、これらの関係を明らかにすることにより、温度変化に対応した効率のよい屋根雪処理のエネルギー投入速度を得ることができる。

4. 本実験からの提案

一般に、外気温がプラスの範囲では、投入エネルギー量は少ない。マイナスの範囲では、投入エネルギー量は多くなり、過剰な融雪水が発生し、氷堤を形成し滑雪しにくくなる危険性がある²⁾。これらを考慮し、エネルギー投入方法を提案する

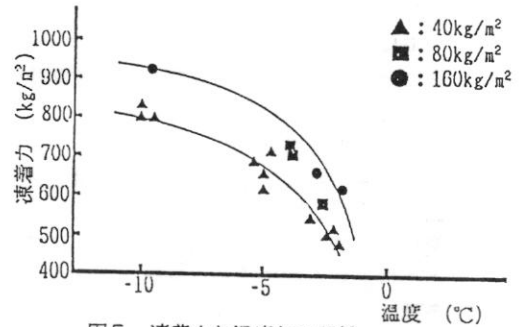


図5 凍着力と温度との関係

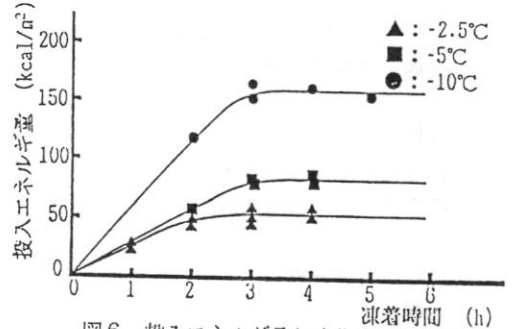


図6 投入エネルギー量と凍着時間との関係

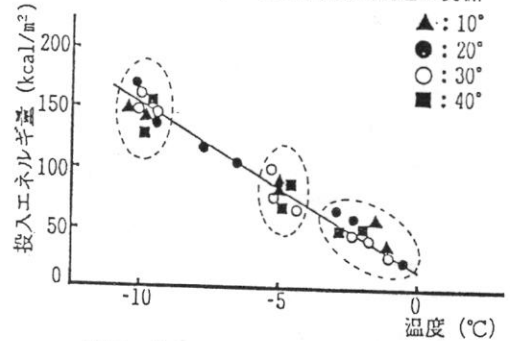


図7 投入エネルギー量と温度との関係

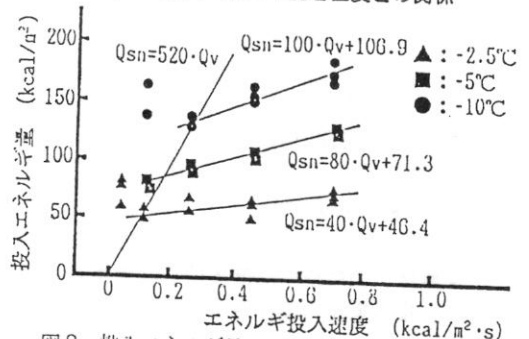


図8 投入エネルギー量とエネルギー投入速度との関係

と以下ようになる。

4-1 エネルギー投入法の推定

図8に示す直線回帰式の係数および定数と温度との関係を見ると図9となる。ここで、直線回帰式の係数をA、定数をBとする。図のように、温度の低下に伴いA及びBは増加傾向を示し、図中の各々の式で近似できる。

前述までの本実験結果と既往の研究より、投入エネルギー量は温度とエネルギー投入速度の影響を大きく受けるが、滑雪角度 20° 、積雪重量 40kg/m^2 以上になると、滑雪角度と積雪重量による影響は少ないことが明らかとなった。これらの要因を考慮し、滑雪角度 20° 、積雪重量 40kg/m^2 の条件で、エネルギー投入法を検討した。

エネルギー投入速度 Q_v は以下に示す式 (1)、(2) の連立方程式により推定可能である。

$$Q_{sn}=520 \cdot Q_v \quad (1)$$

$$Q_{sn}=A/Q_v+B \quad (2)$$

$$\text{ただし、} A=11.0 \cdot 0.157^{1.36T} \quad (3)$$

$$B=-7.93 \cdot T+28.6 \quad (4)$$

$$\text{よって、} Q_v=B \cdot (520-A)^{-1} \quad (5)$$

Q_{sn} : 投入エネルギー量 (kcal/m^2)

T: 温度 ($^\circ\text{C}$)

Q_v : エネルギー投入速度 ($\text{kcal/m}^2 \cdot \text{s}$)

A: 図9より求まる係数

B: 図9より求まる定数

前述の推定式から図10に示す、温度による等値線図が得られる。この式を用いて、融雪滑雪に最も有効な温度別のエネルギー投入法の推定が可能と考える。

5. まとめ

融雪滑雪処理方法は、融雪により屋根雪の移動を促して、滑雪処理するため供給熱量の面からみて経済的な屋根雪処理方法である。本研究では、膜構造物の屋根雪の処理方法として融雪滑雪制御システムを提案するため、低温恒温室内で室内モデル実験を実施した。その結果、融雪滑雪システムのエネルギー投入法を検討するう

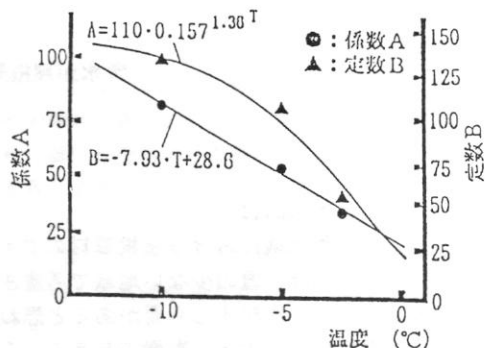


図9 係数A、定数Bと温度との関係

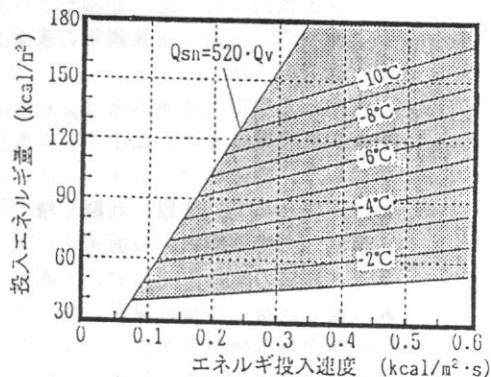


図10 温度における等値線図

えで最も重要となる投入エネルギー量およびエネルギー投入方法に関する資料が得られた。このことにより大スパン膜構造物における屋根雪処理が容易になると考える。従って今後、この融雪滑雪制御システムが確率されることにより、透光性の確保や雪荷重の軽減が可能となり、積雪寒冷地域における膜構造物の建設計画や設計を実施するうえで重要な基礎資料となると考える。

参考文献

- 1) 高橋 博・中村 勉: 雪水防災 白亜書房 PP213~302 昭和61年12月
- 2) 渡辺 正昭・平井 和樹: 屋根葺材と屋根雪の摩擦に関する研究 (その1) 日本工学会誌 第3号, PP1~11, 昭和62年8月
- 3) 平澤 祐二: 膜構造物の融雪・滑雪性に関する基礎的研究 北海道工科大学卒業論文 昭和63年3月
- 4) 渡辺 正昭・平井 和樹: 屋根葺材と屋根雪の摩擦に関する研究 (その2) 日本工学会誌 第9号, PP4~15 昭和63年12月
- 5) 横沢 正樹・寺尾 史彦・山口 英治: 屋根雪の滑雪性に関する基礎的研究 北海道工科大学卒業論文 平成元年3月
- 6) 金田 隆・小山 喜弘: 大スパン膜構造物の滑雪性に関する基礎的研究 北海道工科大学卒業論文 平成2年3月
- 7) 宮地 司・山口 英治・伊藤 敏幸・星野 政幸: 膜構造物の屋根雪処理に関する基礎的研究 日本建築学会論文報告集第426号 PP95~105 平成3年8月
- 8) 前田 博司: 金属板における積雪の滑落 日本雪水学会誌 第41巻 PP39~44 昭和54年9月